

L'impact de l'intelligence
artificielle sur le
jugement clinique :

document d'information



Rédigé par : **Benjamin Chin-Yee** et **Ross Upshur**

L'impact de l'intelligence artificielle sur le jugement clinique :

document d'information

Rédigé par :

Benjamin Chin-Yee MD, MA

Médecin résident, département de médecine, Université de Toronto

et

Ross Upshur MA, MD, MSc, CCFP, FRCPC

Chaire de sciences cliniques en santé publique, Dalla Lana School of Public Health,
Chef de la Division des sciences cliniques en santé publique, Dalla Lana School of Public Health,
Directeur scientifique, Groupe de collaboration Bridgepoint pour la recherche et l'innovation,
Directeur adjoint, Institut de recherche Lunenfeld-Tanenbaum, Sinai Health Systems,
Professeur, Département de médecine familiale et communautaire et Dalla Lana School of
Public Health, Université de Toronto



Document d'information parrainé par

Ce document est le premier d'une série de rapports préparés sous le patronage d'AMS Healthcare avec pour objectif de renseigner les professionnels de la santé, les éducateurs et les directeurs de services de santé au sujet du potentiel et des défis présentés par les technologies émergentes dans le domaine de la santé.

AMS Healthcare est un organisme caritatif canadien qui possède une liste de réalisations impressionnante comme catalyseur de changement dans le domaine des soins de santé au Canada. AMS s'efforce d'améliorer les soins offerts à tous les Canadiens en innovant au niveau de l'éducation et de la pratique dans le domaine de la santé, en encourageant les recherches en histoire de la médecine et des soins de santé, en soutenant la formation de leaders et en faisant avancer la recherche tant en sciences humaines qu'en sciences de la santé.

L'initiative d'AMS intitulée *Compassionate Care in a Technological World* [Soigner avec compassion dans un monde technologique] met l'accent sur : (1) la promotion de l'éducation et de la pratique permettant d'offrir des soins avec compassion; (2) la promotion de nouveaux modèles de prestation des soins avec compassion; (3) l'émergence du leadership requis pour que se réalisent les promesses de la technologie tout en maintenant l'aspect humaniste des soins dans un système de santé en pleine transformation.

Contents

Sommaire	4
1. Introduction	5
1.1. Le jugement clinique et la profession médicale	6
1.2. Vue d'ensemble de ce document d'information	6
2. Qu'est-ce que l'IA dans les soins de santé?	7
2.1. L'IA et les méthodes statistiques traditionnelles	8
2.2. Applications cliniques actuelles et potentielles de l'IA	9
3. Qu'est-ce que le jugement clinique?	11
3.1. Manières d'aborder le jugement clinique	11
3.2. Cadres statistiques ou cadres d'interprétation	12
4. Comment l'IA aura-t-elle un impact sur le jugement clinique?	13
4.1. Le jugement clinique, l'IA et les « boîtes noires »	14
4.2. Interprétation et réciprocity dans le domaine de l'IA	14
4.3. Dépasser l'opposition entre IA et jugement clinique	16
4.4. Exemple : Prédiction et pronostication	17
5. Quels défis et quelles possibilités présente l'IA dans le cadre de la formation médicale?	19
5.1. Recentrer la formation médicale vers les compétences « humaines »	19
5.2. Incidences sur le développement des programmes d'enseignement	20
6. Conclusion	22
Bibliographie	23

Pour citer cette publication :

Chin-Yee B, Upshur R. (2019). The Impact of Artificial Intelligence on Clinical Judgment: A Briefing Document. Toronto, ON, AMS Healthcare.

Sommaire

- L'intelligence artificielle (IA) donne lieu à un nombre de plus en plus grand d'applications dans l'ensemble du système de santé. Certains prédisent que l'IA finira par prendre la place des médecins. D'autres soutiennent que le raisonnement humain et la présence humaine resteront indispensables. Dans ce rapport, nous présentons les applications actuelles et potentielles de l'IA dans la pratique du jugement clinique. Dépassant des dichotomies sans intérêt, nous expliquons les diverses manières dont l'IA pourra vraisemblablement soutenir concrètement, sans toutefois le remplacer, le jugement des médecins.
- Jusqu'ici, on a surtout mis l'accent sur la capacité de l'IA à améliorer la précision des pronostics ou à constituer un ajout à certaines procédures de diagnostic, et on a moins prêté attention à l'impact potentiel de l'IA sur certains aspects de base de la profession médicale. Le jugement clinique constitue l'essentiel de la pratique quotidienne de notre profession et est au centre de la formation de premier et de second cycle en médecine. Il devient de plus en plus urgent d'explorer la manière dont l'IA peut interagir avec le jugement clinique des médecins, comment ces technologies pourraient soutenir ou altérer les processus de raisonnement clinique et modifier la relation entre médecins et patients ainsi que l'apprentissage expérientiel des futures générations de médecins.
- Pour comprendre l'impact potentiel de l'IA, il nous faut examiner la nature du jugement clinique. Le jugement clinique est, de par sa nature même, pluraliste et exige l'intégration d'un éventail d'approches allant des méthodes statistiques à des cadres narratifs. Un bon jugement clinique exige que l'approche suivie soit adaptée aux circonstances spécifiques concernées. Ce processus exige lui-même une aptitude à raisonner de manière flexible en fonction du contexte, aptitude aussi appelée «sagesse pratique». L'arrivée de l'IA invite à une réflexion sur la manière dont la technologie pourrait altérer les capacités des individus en cours de formation à acquérir ce type de sagesse.
- L'IA et l'apprentissage automatique se situent dans le sillage de techniques statistiques plus anciennes, et, comme ces dernières, ont plusieurs points forts ainsi que des limites. Les applications actuelles de l'IA se situent principalement dans les spécialités liées au diagnostic et portent sur des tâches relativement limitées, un peu comme d'autres outils de stratification du risque ou des algorithmes de diagnostic déjà largement utilisés. Bien que certains imaginent un avenir où l'IA exécuterait une gamme plus complète de tâches cliniques, les technologies actuelles et le flux de travail clinique restreignent la probabilité que l'IA puisse en pratique remplacer les médecins en chair et en os.
- Ces derniers continueront à être indispensables à cause de la nature pluraliste du jugement clinique. Des tâches cliniques complexes allant de l'explication d'un diagnostic à la communication d'un pronostic et à la discussion des objectifs d'un traitement exigent de la part des médecins qu'ils mettent en œuvre de multiples stratégies de raisonnement. Les médecins doivent être en mesure d'utiliser à la fois des outils quantitatifs et des méthodes d'interprétation, et, grâce à la sagesse pratique, de décider quelle approche répond le mieux au contexte spécifique concerné.
- L'IA pourrait ouvrir des possibilités d'humanisation de la médecine en contribuant à éliminer plusieurs tâches routinières accomplies par les médecins, ce qui, à son tour, pourrait permettre d'accorder une plus grande attention aux dimensions humaines incontournables de la médecine clinique. Cela ne sera toutefois possible que si les applications de l'IA sont soigneusement conçues pour tenir compte à la fois de l'expérience du clinicien et de celle du patient.
- La pénétration de l'IA et de l'apprentissage automatique en médecine ouvre également des possibilités de réalignement les objectifs de la formation médicale au premier et au second cycle sur les futurs besoins du secteur des soins de santé. Un enseignement portant sur l'IA peut être adjoint à celui qui porte sur d'autres méthodes statistiques afin de développer

des compétences en jugement critique qui aideront les étudiants à évaluer la validité des outils de l'IA. Les divers programmes devraient également favoriser une prise de conscience des problèmes sociaux et éthiques soulevés dans le domaine des soins de santé par l'introduction de l'IA.

- Les technologies de l'IA peuvent conduire à valoriser davantage les compétences et aptitudes purement humaines, comme le raisonnement moral, l'empathie et l'altruisme. Par conséquent, les programmes de formation devraient mettre l'accent sur le développement des compétences humanistes sur lesquelles se fonde un bon jugement clinique. Ces compétences humanistes peuvent bénéficier de l'inclusion de concepts empruntés aux sciences sociales et humaines dans les programmes de formation de base tant au premier qu'au second cycle.
- La formation médicale à l'ère de l'IA devrait viser à aider les étudiants à devenir des médecins techniquement compétents et empathiques capables d'agir comme leaders du secteur des soins de santé et d'ouvrir de nouvelles modalités de pratique alliant les avantages de la technologie aux aptitudes humaines permettant des soins plus compasants et centrés sur le patient.

1. Introduction

Les technologies de l'Intelligence artificielle (IA) sont en passe de révolutionner les soins de santé grâce à toute une gamme d'applications qui auront un impact sur la manière dont les médecins posent des diagnostics, établissent des pronostics et prescrivent des traitements. L'IA a suscité l'intérêt de tout le système de santé et ses retombées sont importantes tant en recherche clinique et en amélioration de la qualité, qu'en politiques de la santé, en santé publique et en formation professionnelle dans le domaine de la santé. Cet intérêt se manifeste par un nombre croissant de publications portant sur l'IA dans les soins de santé, tant sous forme de publications universitaires,¹ que de documents portant sur les politiques en matière de santé,² d'énoncés émanant d'associations professionnelles,³ et de couverture dans les médias populaires.

Dans le secteur des soins de santé, le terme « IA » fait référence à un éventail de technologies qui en sont à divers degrés de développement. L'utilisation de l'IA dans le milieu des soins de santé ne représente pas vraiment une nouveauté,⁴ les applications actuelles se situent en effet dans le sillage de nombreuses tentatives d'intégration des technologies informatiques dans les soins cliniques, tendance qui a fait l'objet de réactions enthousiastes et de critique depuis les années 1990. Plus récemment toutefois, les technologies de l'IA ont pris un essor considérable et fait des percées dans le domaine de « l'apprentissage profond » et dans celui, en pleine progression, des « mégadonnées » qui alimentent les algorithmes d'apprentissage automatique.^{1,5,6} Ces développements ont stimulé des débats au sujet de l'impact de l'IA sur les soins de santé. Certains de ses partisans prétendent que l'IA pourrait réduire le rôle des cliniciens ou même les remplacer alors que ses détracteurs mettent en garde contre ses retombées négatives potentielles sur les soins aux patients.

Ce document d'information se penche sur la manière dont les technologies de l'IA vont probablement avoir un impact sur le jugement clinique des médecins. Nous y explorons divers aspects de cet impact en portant particulièrement attention à la manière dont l'IA peut affecter les soins cliniques et la relation patient-médecin, ainsi qu'à ses retombées dans le domaine de la formation médicale théorique et pratique des médecins dans des environnements cliniques. Soulignons que cet exposé vise à dépasser les débats polarisés entre partisans et détracteurs de l'introduction de l'IA dans les soins de santé, cherchant plutôt à définir des points de dialogue importants entre les diverses parties, tout en soulignant les défis, les risques et les possibilités associés à l'utilisation de ces technologies en soins cliniques.

1.1. Le jugement clinique et la profession médicale

Jusqu'à présent, on a surtout mis l'accent sur la capacité de l'IA à réaliser certaines tâches techniques spécifiques comme améliorer la précision des pronostics, ou à venir d'ajouter à certaines procédures de diagnostic. On a moins prêté attention à l'impact potentiel de l'IA sur certains aspects de base de la profession médicale. Le concept de jugement clinique est à la base de notre profession et décrit une activité fondamentale et quotidienne de notre pratique dont le développement constitue un aspect majeur de la formation médicale de premier et de second cycle.

Le jugement clinique est au centre de l'identité professionnelle d'un médecin. Le référentiel CanMEDS du Collège royal des médecins et chirurgiens du Canada illustre le rôle central du jugement clinique dans la profession médicale.⁷ Le jugement clinique se situe à l'intersection des rôles d'expert médical et d'expert non médecin, cette dernière catégorie incluant des professionnels, des communicateurs et des collaborateurs. Le jugement clinique couvre plusieurs des compétences clés définies dans CanMEDS et va de la capacité à effectuer une évaluation clinique centrée sur le patient et à établir un plan de prise en charge, à celle de faire preuve d'engagement envers le patient en appliquant les meilleures pratiques et en adhérant à des normes éthiques rigoureuses. Le jugement clinique permet aux médecins de reconnaître la complexité, l'ambiguïté et le degré d'incertitude inhérents à la pratique médicale et d'y répondre. La dimension éthique du jugement clinique rejoint les valeurs centrales du statut de médecin, valeurs que le Collège royal identifie comme étant l'honnêteté, l'intégrité, l'humilité, l'engagement, la compassion, le respect, l'altruisme, et le respect de la diversité. Il est clair que le jugement clinique va au-delà du déploiement de talents cognitifs ou procéduraux isolés, mais se réfère plutôt à un ensemble plus complet et plus varié de compétences techniques et humaines. Nous examinerons cela plus en détail ci-après dans notre analyse des diverses manières d'aborder et de conceptualiser le jugement clinique.

Le rôle central du jugement clinique dans la profession médicale demande que nous nous penchions sur la manière dont l'IA pourrait affecter le jugement clinique des médecins. Il devient de plus en plus urgent d'explorer la manière dont les technologies de l'IA peuvent soutenir ou altérer les processus de raisonnement clinique et modifier la relation entre médecins et patients ainsi que l'apprentissage expérientiel des futures générations de médecins.

1.2. Vue d'ensemble de ce document d'information

Ce document d'information s'articule sur quatre questions de base qui faciliteront notre analyse :

1. **Qu'est-ce que l'IA dans les soins de santé?**
2. **Qu'est-ce que le jugement clinique?**
3. **Comment l'IA aura-t-elle un impact sur le jugement clinique?**
4. **Quels défis et quelles possibilités présente l'IA dans le cadre de la formation médicale?**

Nous nous penchons successivement sur chacune de ces questions, en commençant par une présentation des concepts clés et de la terminologie utile pour comprendre le rôle de l'IA dans les soins de santé.

2. Qu'est-ce que l'IA dans les soins de santé?

L'IA fait aujourd'hui partie des sujets à la mode dans les soins de santé et l'emballement qui l'entoure fait souvent obstacle à l'évaluation réaliste de ses applications cliniques actuelles et futures. Plusieurs médecins pratiquants peuvent ne pas être familiers avec la terminologie de l'IA, nous commencerons donc par une définition des principaux termes.⁸

L'intelligence artificielle est un domaine interdisciplinaire qui englobe, entre autres, l'informatique, la psychologie, la linguistique et la philosophie, et qui vise à développer des ordinateurs capables d'effectuer des tâches normalement réservées à l'intelligence humaine.

L'apprentissage automatique est une branche de l'IA qui a recours à des systèmes informatiques pour « apprendre » les schémas enfouis dans les données massives qui leur sont soumises et pour en déduire des algorithmes. L'apprentissage automatique est présenté comme différent des anciens systèmes experts qui étaient basés sur des règles logiques (on parle aujourd'hui de « la bonne vieille IA ») en ce sens que le savoir représenté par un algorithme provient de données au lieu de règles préprogrammées.

L'apprentissage profond est une modalité d'apprentissage automatique qui a recours à des réseaux neuronaux à couches multiples pour extraire les motifs des données et en générer des représentations avec un degré de plus en plus grand d'abstraction. Les réseaux neuronaux informatiques reproduisent de manière approximative la structure du système nerveux biologique. Ils sont formés par des couches de nœuds reliés entre eux qui, comme les neurones, reçoivent chacun des données d'entrée et génèrent des données de sortie lorsque certains seuils sont atteints. Dans un réseau neuronal, l'information est codée dans les connexions qui relient les nœuds en fonction de la pondération relative qui leur est attribuée et de leurs relations avec les données de sortie. Les connexions entre les nœuds sont « entraînées » à représenter les données des « couches cachées » qui encodent les relations entre les données d'entrée et les données de sortie.

L'apprentissage automatique comprend aussi une branche appelée « **apprentissage supervisé** » qui apprend aux algorithmes à classer les données d'entrée en fonction de la structure désirée des données de sortie (en s'appuyant sur des catégories connues ou « réalité de terrain »), et une autre appelée « **apprentissage non supervisé** » qui a recours à des algorithmes pour agglomérer les données d'entrée ayant des caractéristiques communes. Un exemple fréquemment cité d'apprentissage supervisé consiste en un système qui permet d'entraîner un réseau neuronal multicouche à l'identification des cancers de la peau à partir d'une base de données d'images étiquetées en fonction de diagnostics établis sur la base de biopsies.⁹ L'apprentissage non supervisé a été utilisé pour générer de nouvelles classifications des tumeurs à partir de données génomiques.¹⁰ Jusqu'à présent, la plupart des applications de l'IA dans les soins de santé reposent sur des algorithmes d'apprentissage supervisé qui exigent des données étiquetées et une présélection des données de sortie.

La relation entre ces termes associés à l'IA est illustrée à la figure 1, adaptée de Goodfellow et al.¹¹

L'apprentissage profond a suscité un intérêt considérable dans le domaine des soins de santé et est un sujet de prédilection dans les exposés portant sur l'IA et l'apprentissage automatique destinés à des auditoires du milieu médical.^{12,13} Ceci peut être en partie dû à des exemples impressionnants d'applications de l'apprentissage profond en médecine, en particulier pour l'analyse d'images permettant la détection du cancer de la peau ou de la rétinopathie diabétique.^{9,14} Bien d'autres formes d'algorithmes d'apprentissage automatique ont toutefois trouvé des applications en médecine.

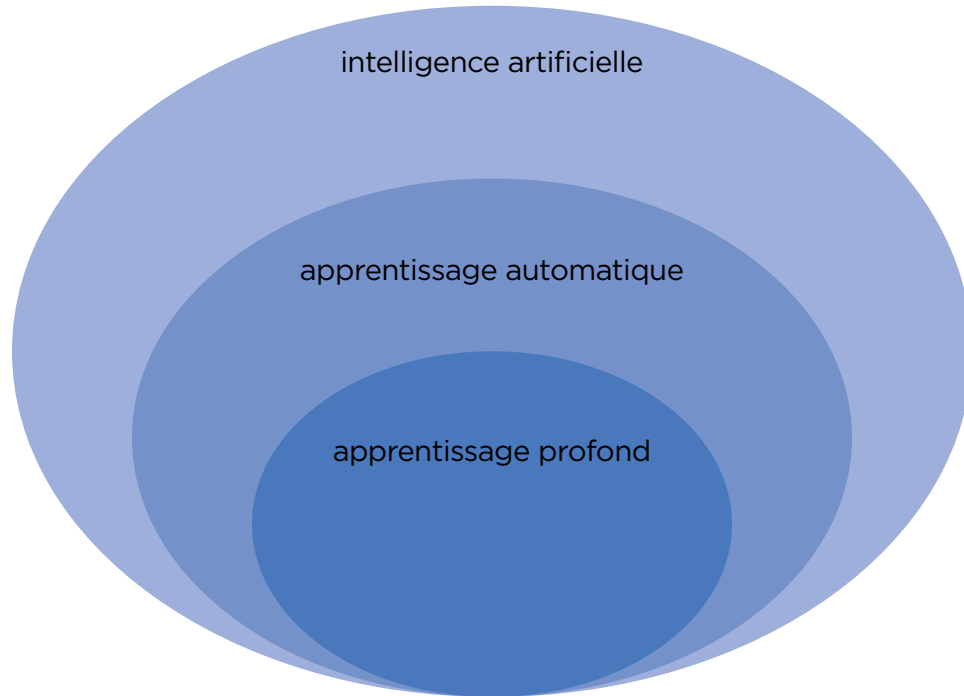


Figure 1. Diagramme schématisé adapté de Goodfellow et al.¹¹ démontrant la relation entre les termes « intelligence artificielle, » « apprentissage automatique » et « apprentissage profond. »

2.1. L'IA et les méthodes statistiques traditionnelles

En dépit de son apparente nouveauté et de sa puissance, il est important de reconnaître que l'apprentissage automatique se situe dans une continuité avec les méthodes statistiques utilisées en recherche clinique et en pratique médicale. Comme le soulignent les scientifiques spécialistes du traitement des données Andrew Beam et Isaac Kohane dans un numéro récent du JAMA¹⁵ :

« L'apprentissage automatique n'est pas un procédé magique capable de transmuter des données en or, et pourtant bien des annonces récentes semblent impliquer que c'est le cas. Il s'agit plutôt d'une extension naturelle des méthodes statistiques traditionnelles. »

Bien que l'apprentissage automatique puisse requérir relativement moins d'interventions humaines que les statistiques traditionnelles au niveau du traitement des données, il constitue, en fin de compte, une forme d'analyse des données mettant en jeu un ensemble complexe d'opérations mathématiques et génère des inférences fondées sur les données. Bien que l'apprentissage automatique puisse en différer par son degré d'automatisation et par l'échelle de ses applications, les principes sur lesquels il repose ne sont pas différents d'autres formes d'analyse mathématique.

Tout comme en calcul statistique, chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients. Le niveau d'intelligibilité, de reproductibilité et de robustesse varie selon les algorithmes d'apprentissage automatique. L'apprentissage profond, par exemple, présente à la fois des points forts et des limites. Il convient bien aux problèmes pour lesquels on dispose de données riches, comme la classification des images pour laquelle on dispose d'ensembles de données organisées et étiquetées et de « réalité de terrain », c.-à-d. de variables cibles dont on connaît la valeur et qui peuvent servir aux algorithmes d'apprentissage supervisé. Par exemple, dans l'étude portant sur le cancer de la peau mentionnée ci-dessus,⁹ les chercheurs ont appliqué

l'apprentissage profond à une banque d'images pré-étiquetées comme bénignes ou malignes en fonction des résultats de biopsies de la peau. L'apprentissage profond est souvent présenté comme robuste et stable face aux instabilités des données, propriété que l'on a appelée «dégradation progressive». Cette appellation signifie que l'efficacité d'un système se dégrade peu à peu plutôt que de manière catastrophique lorsque ses composantes sont perturbées ou détruites, ce qui contraste avec les anciens programmes reposant sur des règles qui provoquaient une panne totale des systèmes dès qu'une ligne de code était supprimée. Certaines études ont toutefois montré que les réseaux neuronaux peuvent être sensibles à de légères variations des données entrantes, comme la position ou l'orientation des images, ce qui peut conduire à des résultats radicalement différents et à des erreurs importantes. Ce problème est important dans le domaine des soins de santé où les données entrantes peuvent connaître des variations spécifiques causées, par exemple, par des facteurs techniques au niveau de l'acquisition des images. Bien que les radiologistes d'expérience soient en mesure de reconnaître facilement ces variations (altérations de l'angle ou de la rotation d'images), un algorithme pourrait les ignorer et produire des résultats erronés. Il est impératif que de telles questions soient réglées avant d'appliquer ces algorithmes dans le contexte des soins cliniques.

Bien que certaines tâches puissent convenir à des algorithmes d'apprentissage automatique, d'autres méthodes peuvent mieux convenir dans des contextes où l'interprétabilité et les connaissances humaines sont requises.¹⁶ Le choix des méthodes les mieux adaptées à la tâche visée sera critique si l'on veut réussir l'intégration de l'IA à la pratique clinique. Nous y reviendrons plus loin.

2.2. Applications cliniques actuelles et potentielles de l'IA

Les algorithmes d'IA se sont surtout fait remarquer dans des spécialités liées au diagnostic comme la radiologie et la pathologie, mais ils ont aussi été appliqués pour étayer les procédures de diagnostic dans un éventail d'autres domaines comme la dermatologie, l'ophtalmologie, la gastroentérologie et la cardiologie. Certaines de ces applications sont passées en revue et résumées dans une étude récente menée par le cardiologue et futuriste médical Eric Topol.¹³ La plupart de ces technologies ont été utilisées dans des contextes de recherche et ne le sont pas encore dans la pratique clinique quotidienne. Toutefois, certaines applications ont récemment été approuvées pour usage clinique aux États-Unis par la U.S. Food and Drug Administration (FDA),^{17,18} notamment un système (appelé IDx-DR) pour détecter la rétinopathie diabétique et un logiciel (appelé Viz.AI) pour détecter les accidents cérébrovasculaires sur les images obtenues par tomographie assistée par ordinateur.

Outre ces exemples vedettes, on réalise souvent moins bien comment les algorithmes d'IA sont déjà utilisés dans une variété de contextes auxiliaires qui ont un impact sur les soins cliniques. Par exemple, certains laboratoires de microbiologie ont intégré la reconnaissance d'images au moyen de logiciels basés sur l'IA pour analyser de manière numérique la multiplication des bactéries sur des plaques de gélose.^{19,20} De façon similaire, les laboratoires d'hématologie emploient de plus en plus des outils de reconnaissance numérique des images qui ont recours à des réseaux neuronaux pour automatiser l'analyse différentielle et morphologique des cellules sanguines, tâche qui était auparavant confiée à des technologues de laboratoire.²¹ Outre ce qui se fait en laboratoire, certains hôpitaux développent actuellement des algorithmes d'IA à partir de données locales pour anticiper l'évolution de l'état de santé des patients et identifier les patients présentant un risque de réactions indésirables.²²

Comme le montrent ces exemples, le déploiement des technologies de l'IA en médecine est déjà bien engagé. Néanmoins, les applications actuelles de l'IA portent presque exclusivement sur des tâches plutôt limitées et jouent un rôle de soutien souvent éloigné d'un cran ou plus de l'interaction clinique. La plupart sont conçues pour faciliter la prise de décision au niveau du diagnostic ou du pronostic et elles requièrent toutes une interprétation humaine avant de pouvoir contribuer aux soins des patients. Ainsi, ce type d'algorithmes n'est pas très différent

d'autres indices de stratification du risque et des algorithmes de diagnostic déjà intégrés à la pratique clinique dans plusieurs spécialités et aujourd'hui facilement accessibles via certaines applications sur les téléphones intelligents. Bien que ces nouvelles technologies d'IA soient capables de traiter un plus grand volume de données, utilisent des méthodes statistiques plus sophistiquées, et offrent de plus hauts degrés d'automatisation, elles ont, en principe, des objectifs similaires à ceux d'outils cliniques déjà en place.

L'adoption plus généralisée des technologies de l'IA dans une vaste gamme de systèmes de santé a été limitée à cause du manque de validation prospective, ce qui soulève des doutes quant à leur exactitude, leur généralisabilité et leur sécurité une fois sorties d'un contexte de recherche. Les algorithmes d'IA utilisés pour le diagnostic tendent à être moins performants lorsqu'on les applique de manière prospective que lorsqu'on les utilise pour des validations rétrospectives. Par exemple, un algorithme utilisé pour la prévision du risque de mortalité durant une hospitalisation développé à partir des données historiques d'un centre hospitalier peut ne pas être aussi efficace quand on l'utilise dans un autre centre, ou même si on l'utilise de manière prospective dans le centre même où il a été validé de manière rétrospective. La gamme de facteurs pouvant en être la cause va du biais dans les groupes de patients échantillonnés et des aberrations au niveau des données, à des problèmes plus généraux qui surviennent lorsque l'on tente de prédire l'avenir à partir du passé dans des systèmes complexes.²³ Bien que ces problèmes ne soient pas spécifiques à l'IA et soient bien connus dans d'autres domaines utilisant les statistiques, on risque de les oublier sous l'emprise de l'emballement et des idées fausses qui prévalent et qui voient dans l'IA un outil magique qui transcende les limites des mathématiques et des méthodes statistiques traditionnelles.

Sans une validation prospective suffisante, il est improbable que des outils standardisés d'IA soient intégrés aux soins cliniques quotidiens. Quant à leur généralisabilité, certains algorithmes d'IA pourraient rester d'utilité locale étant donné qu'ils ont été développés à partir de données locales et conçus pour contribuer à la prise de décisions à l'échelle locale. La nature contextuelle de ces algorithmes peut empêcher leur extrapolation directe vers d'autres contextes de soins. Certaines technologies de l'IA ont été intégrées avec succès à des flux de travail dans certains laboratoires cliniques spécifiques, cependant plusieurs d'entre elles requièrent une infrastructure connexe et un soutien considérables, ce qui pose problème si l'on veut les transposer à d'autres contextes. Plusieurs facteurs influencent la manière dont les technologies d'IA seront intégrées aux soins cliniques lors d'étapes ultérieures.

Si l'on tient compte de ces contraintes, les applications actuelles restent le meilleur indicateur dont on dispose pour imaginer le futur rôle potentiel de l'IA dans les soins de santé. Bien qu'il soit particulièrement difficile de prévoir les futurs développements technologiques, des applications limitées de l'IA verront très probablement le jour, comme des algorithmes conçus pour appuyer certaines méthodes de diagnostic ou pour faciliter l'évaluation des risques et le pronostic. Certains entrevoient même un avenir où l'IA pourrait accomplir un ensemble plus complet de tâches cliniques. Par exemple, Babylon Health, une compagnie spécialisée en applications numériques dans le secteur de la santé, a investi dans la mise au point d'une application basée sur l'IA qui vise à trier et à diagnostiquer les patients.²⁴ Il reste à déterminer l'efficacité et la sécurité de cette technologie ainsi que d'autres outils du même type. En dépit de ces ambitions, il reste peu probable que, si l'on se base sur les technologies et les flux de tâches actuels, l'IA puisse remplacer efficacement les médecins. L'IA jouera un rôle de soutien, mais nécessitera quand même une interprétation humaine dans le contexte du suivi des patients. La cause n'en réside pas seulement dans des contraintes techniques et des problèmes de validation et de généralisabilité, mais aussi dans la nature même de la médecine clinique où bien des tâches échappent à tout encodage sous forme d'algorithme. Bien qu'un algorithme d'IA puisse poser un bon diagnostic dans un grand nombre de cas, la communication de ce diagnostic et la mise en œuvre d'un plan de gestion de cas pour un patient donné, le tout souvent assorti de besoins complexes liés à la comorbidité et à l'aide sociale, requièrent une compétence spécifiquement humaine. C'est cette compétence humaine au cœur de notre profession que nous appelons le jugement clinique.

3. Qu'est-ce que le jugement clinique ?

Bien des divergences font obstacle à une définition largement acceptée du jugement clinique, et ce dernier est abordé et décrit sous divers angles dans la littérature.²⁵ L'éthicien médical Tristram Engelhardt le définit ainsi : «la capacité de poser des diagnostics, de communiquer des pronostics et de faire des choix de traitement qui aident le patient ou, tout au moins, ne lui font aucun mal».²⁶ Dans le présent document d'information, nous adoptons une définition large du même type :

Le jugement clinique couvre l'ensemble complexe des tâches de raisonnement et des actes effectués par des cliniciens pour présenter à leurs patients des diagnostics, des options thérapeutiques et des pronostics concernant leur santé et leurs problèmes de santé.

L'adjectif «clinique» fait référence au monde de la pratique : le jugement clinique repose sur des rencontres avec les patients, les familles et les soignants. Le terme «jugement» fait référence à un ensemble hétérogène de tâches allant de la formulation d'un diagnostic différentiel à l'amorce d'un plan de gestion de cas, et à la communication d'un pronostic. Pour en arriver à une décision, le jugement clinique tient nécessairement compte de multiples sources d'information et de multiples contraintes. Plusieurs professionnels de la santé (comme le personnel infirmier, les ergothérapeutes et les pharmaciens) pratiquent également le jugement clinique, mais c'est sur le jugement clinique des médecins que nous nous penchons ici. Nous utilisons indifféremment les expressions «jugement clinique» et «raisonnement clinique», avec toutefois une préférence pour la première qui couvre également les aspects non cognitifs du jugement, aspects qui sont influencés par des valeurs. Nous examinerons ces aspects ci-dessous.

3.1. Manières d'aborder le jugement clinique

Le jugement clinique a fait l'objet d'études couvrant une multitude de perspectives. Certaines se sont inspirées des sciences cognitives et de la psychologie pour analyser le raisonnement clinique en termes de processus cognitifs distincts, et ont souligné la manière dont les décisions médicales sont influencées par des processus heuristiques et des biais courants.²⁷⁻²⁹ Cette façon de voir a eu de l'influence sur la formation médicale et la pratique clinique, en particulier pour l'analyse des erreurs médicales. D'autres approches se sont penchées sur le savoir tacite, arguant que l'intuition constitue une composante critique indispensable du jugement clinique.^{30,31}

Une autre approche souligne la nature expérientielle de la médecine et met l'accent sur les dimensions éthiques et sur les aspects non cognitifs du jugement, ces derniers étant eux-mêmes fortement reliés à des valeurs. Cette façon de voir met en relief le rôle du clinicien en tant que personne qui raisonne moralement, ce qui associe au jugement clinique une nécessité de cultiver vertus et sagesse pratique. Dans son livre intitulé *How Doctors Think* [La manière de penser des médecins],³² l'experte en sciences humaines et éducatrice en médecine Kathryn Montgomery définit la **sagesse pratique**, aussi appelée **phronèse**, en ces termes :

«La capacité interprétative souple permettant aux personnes qui raisonnent sur un plan moral de décider des meilleures mesures à prendre lorsque le savoir concerné dépend du contexte».

La sagesse pratique, alias phronèse, est la qualité essentielle qui «permet aux médecins d'adapter leur savoir et leur expérience à la situation spécifique de chaque patient.» La reconnaissance de la sagesse pratique comme composante centrale du jugement clinique a des retombées sur la manière dont nous concevons le rôle de l'IA en médecine :

«Si la médecine était une science traditionnelle au sens positiviste du terme, ses règles pourraient être programmées, ses diagnostics établis et ses choix de traitement déterminés

dans leur totalité par un ordinateur. Nous n'aurions pas besoin de médecins. Mais même en supposant que des programmes informatiques soient à l'œuvre presque à temps plein, ils ne pourraient adéquatement remplacer la vigilance clinique. Le besoin de contact humain des deux côtés de la rencontre patient-médecin dépasse de loin les besoins qu'a le patient d'être rassuré et soutenu. Les cliniciens doivent examiner eux-mêmes le patient. Ils disposent d'un immense catalogue bien organisé de cas cliniques ainsi que du savoir-faire leur permettant de s'en servir. Ce bassin de connaissances entre en jeu lorsqu'ils voient, touchent et questionnent le patient».³²

En lien avec ces approches, il existe des comptes rendus sous forme de récits qui analysent les processus d'interprétation par lesquels les médecins et les patients partagent les prises de décisions. Ces récits reconnaissent la subjectivité de l'expérience de la maladie et la manière dont elle est intimement liée à «l'histoire, la culture et la conception du sens de la vie».³³ Un bon jugement clinique est mis en relief par «une aptitude à décrire la reconnaissance, l'acceptation et l'interprétation du récit que fait le patient de sa maladie et la manière dont ce récit nous a touchés».

Pour conclure, une des manières les plus influentes d'aborder le jugement clinique a été rendue célèbre par le mouvement de la «médecine fondée sur les données probantes (MFDP)» durant les années 1990. Cette approche a ardemment promu les méthodes statistiques du raisonnement clinique, jetant ainsi les bases des processus algorithmiques et un exemple en est fourni dans la multitude d'indices d'évaluation de risque et de règles de prédiction qui en a émergé. Des algorithmes de prise de décision clinique comme le score diagnostique pour le risque d'embolie pulmonaire (Wells) ont eu un impact marqué sur la pratique clinique. Les indices de prédiction des risques ont grandement contribué à stratifier les patients, facilitant ainsi le choix des tests diagnostiques et orientant les traitements. Des analyses systématiques ont montré comment le diagnostic et la gestion de cas peuvent être améliorés grâce à des algorithmes standardisés de soutien à la prise de décision. Par conséquent, ces outils ont été intégrés aux directives de pratique clinique et sont devenus la norme dans l'enseignement du diagnostic clinique des programmes de premier et de second cycle en médecine.

3.2. Cadres statistiques ou cadres d'interprétation

Comment ces deux manières différentes d'aborder le jugement clinique cohabitent-elles? Il faut nettement distinguer l'approche «statistique» et l'approche «par interprétation» (Figure 2). On trouve une distinction du même type dans les travaux du psychologue Paul Meehl dont l'ouvrage intitulé «Clinical Versus Statistical Prediction» [Prédiction clinique ou prédiction statistique] mettait en contraste le jugement «clinique» et le jugement statistique ou «actuariel», le premier étant décrit comme «subjectif» et le second comme «objectif». Selon Meehl, le raisonnement appuyé par un modèle mathématique, généralement basé sur des calculs statistiques ou des probabilités, est supérieur au raisonnement qui ne bénéficie pas de cet appui tout en étant affecté par de nombreux préjugés. Cette conclusion est secondée par la recherche en psychologie cognitive mentionnée plus haut.

Une grande partie des efforts de la médecine fondée sur des données probantes (MFDP) a cherché à favoriser les approches statistiques du jugement clinique. Il est important de noter que plusieurs algorithmes de la MFDP font place à l'intuition clinique, non seulement dans la manière dont les règles y sont appliquées, mais aussi jusque dans les scores qu'ils produisent. Par exemple, le score diagnostique Wells comprend un critère «subjectif» : «l'embolie pulmonaire est aussi probable ou plus probable qu'un autre diagnostic». Cela permet d'accorder ou non des points supplémentaires reflétant l'expérience clinique ou un facteur de perception (gestalt) pour classer les patients dans une catégorie supérieure de risque. Cette nécessité de l'expertise clinique pour éclairer le raisonnement clinique a été très vite reconnue par les partisans de la MFDP. Dans un article paru dans le BMJ en 1996, le pionnier de la MFDP, David Sackett et ses collaborateurs écrivaient³⁴ :

«Les données cliniques externes peuvent éclairer l'expertise clinique individuelle, mais ne peuvent en aucun cas la remplacer, et c'est cette expertise qui détermine si les données externes s'appliquent à un patient donné; si c'est le cas, elle décide de la manière de les intégrer à une décision clinique.»

L'importance donnée aux algorithmes par la MFDP n'élimine pas le besoin d'une interprétation par des médecins.³⁵ De ce besoin découle le rôle des talents de narrateur et de la sagesse pratique dans les documents qui rendent compte du jugement clinique. De tels rapports peuvent aider les médecins à juger de la meilleure décision à prendre dans un contexte donné et les guider dans l'aspect éthique de leurs actes tout en adaptant les soins aux besoins et à l'expérience du patient.

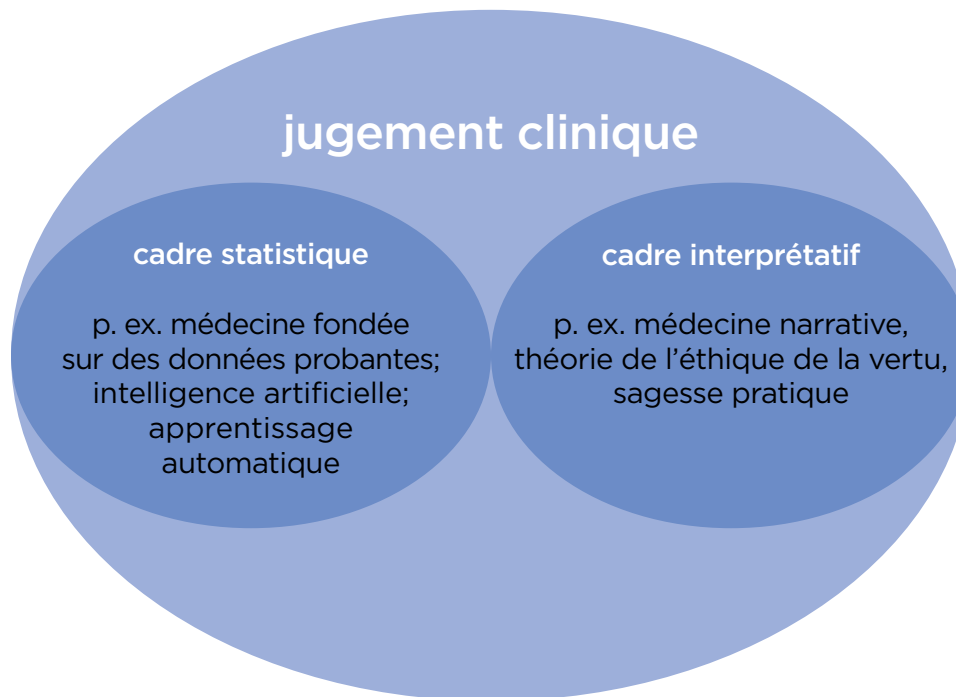


Figure 2. Diagramme schématisant diverses manières d'aborder le jugement clinique et faisant une distinction entre cadre statistique et cadre interprétatif.

4. Comment l'IA aura-t-elle un impact sur le jugement clinique?

Comment l'IA et l'apprentissage automatique s'articulent-ils à ces manières d'aborder le jugement clinique? Compte tenu du fait qu'ils reposent sur de grands ensembles de données numériques, l'IA et l'apprentissage automatique peuvent être perçus comme des extensions des méthodes statistiques d'appui au raisonnement clinique.

L'apprentissage automatique diffère toutefois des algorithmes de la MFDP par le fait qu'au lieu d'entrer des données dans des algorithmes prédéfinis, l'IA peut développer les algorithmes à partir des ensembles de données. Un des grands mobiles de la MFDP était d'explicitier les processus de raisonnement clinique en clarifiant les intrants de la prise de décision et en montrant leur influence sur les interventions conseillées qui en découlaient. À cet égard, plusieurs outils de l'IA diffèrent des anciennes règles de prédiction et des indices d'évaluation de risques. Avec ces nouveaux outils, en particulier ceux qui utilisent les réseaux neuronaux d'apprentissage profond, les médecins ne sont pas toujours en mesure de comprendre

comment certains changements dans les données d'entrée affectent les données de sortie et la prise de décision clinique.

4.1. Le jugement clinique, l'IA et les « boîtes noires »

L'incompréhensibilité potentielle associée à l'IA est un sujet fréquemment soulevé dans la littérature, les critiques affirmant qu'un modèle basé sur l'IA construit une « boîte noire » qui empêche les cliniciens d'avoir accès à la logique qui a conduit à une décision donnée et de la comprendre. Comme l'affirme Geoffrey Hinton, expert en sciences informatiques et chercheur en apprentissage profond, dans un numéro récent de JAMA⁵ :

« On peut comprendre que les cliniciens, les scientifiques, les patients et les responsables de la réglementation préféreraient tous disposer d'une explication simple de la manière dont un réseau neuronal en arrive à ses conclusions concernant un cas donné. Dans le cas d'une prédiction de l'existence ou non d'une maladie chez un patient, ils voudraient savoir quels sont les facteurs cachés utilisés par le réseau. Toutefois, lorsqu'un réseau neuronal profond est entraîné à faire des prédictions à partir de mégadonnées, il met typiquement en œuvre les couches de motifs non linéaires qu'il a découvertes pour modéliser un nombre considérable de tendances complexes mais faibles dans les données. Il est généralement impossible d'interpréter ces motifs étant donné que leur signification repose sur des interactions complexes avec des motifs non interprétés dans d'autres couches du réseau ».

Certains ont affirmé que les doutes entourant ces boîtes noires sont exagérés étant donné que l'on retrouve des incertitudes partout en médecine et que plusieurs des décisions prises par les médecins s'appuient sur des motifs qu'ils ne sauraient décrire ou expliciter et qui restent en marge du domaine de la preuve médicale.³⁶ Autrement dit, l'IA ne ferait que remplacer une boîte noire appelée « intuition médicale » par une autre.

Il ne faudrait cependant pas sous-estimer le besoin d'explication et de justification en médecine lorsque les décisions ont un impact sur le suivi des patients. La nécessité d'expliquer les raisons ayant conduit à telle ou telle décision clinique, ainsi que la base des interprétations de la maladie d'un patient constitue une responsabilité éthique fondamentale des cliniciens. Ni l'analogie entre l'inintelligibilité des machines et le raisonnement humain ni leur équivalence d'un point de vue éthique ne font l'unanimité. Les humains qui prennent des décisions sont, en fin de compte, responsables de leurs actes. On ne peut dire la même chose, tout au moins pour le moment, de l'IA, bien que la question de la responsabilité des machines continue à faire l'objet d'un vigoureux débat. Si les applications de l'IA en médecine se répandent largement, ces questions devront faire l'objet d'autres débats critiques.

4.2. Interprétation et réciprocité dans le domaine de l'IA

En dépit des différences importantes entre l'IA et les méthodes traditionnelles inspirées de la MFDP, établir un certain parallélisme entre l'IA et les autres méthodes statistiques nous aidera à mieux cerner leur rôle potentiel dans le cadre du jugement clinique. Le rôle joué par l'IA peut être perçu dans une continuité par rapport aux autres approches mathématiques du raisonnement clinique. Les technologies utilisant l'IA peuvent faciliter le triage des patients en fonction des risques qu'ils encourent, établir la nécessité ou non d'autres étapes de diagnostic et suggérer des options de traitement. Comme les autres outils quantitatifs toutefois, les algorithmes de l'IA exigeront toujours quelque élément d'interprétation humaine. Le niveau d'interprétation requis variera en fonction de chaque application de l'IA et de son incidence sur le suivi du patient.

Certaines applications de l'IA, comme les technologies de laboratoire mentionnées plus haut, peuvent exiger un degré moindre d'interprétation de la part du clinicien. Au laboratoire,

les technologies de l'IA remplacent des procédures qui ne requièrent généralement pas d'interprétation de la part d'un médecin, ce qui explique en partie pourquoi leur intégration a été moins controversée dans ce milieu. Pour étendre un des exemples donnés plus haut, l'utilisation d'algorithmes homologués d'apprentissage automatique dans l'identification de cultures bactériennes de dépistage positives ne pose généralement aucun problème à la majorité des médecins (beaucoup d'entre eux n'étant en effet probablement pas au courant des technologies spécifiques utilisées). Les médecins acceptent tel quel ce résultat produit par une machine qui indique si une culture est « positive » ou « négative ». Il est également clair que ce résultat doit être interprété dans le contexte clinique, par exemple pour guider la sélection de la méthode de lutte contre ce microbe. À ce stade, le jugement clinique pondère plusieurs facteurs allant des facteurs propres au patient (comme les allergies, l'état du système immunitaire ou certaines insuffisances d'organes), à des considérations systémiques (comme l'utilisation des ressources ou le risque de résistance antimicrobienne).

Les technologies de l'IA peuvent plus facilement remplacer les procédures exigeant un degré minime d'interprétation par le médecin. Un degré minime d'interprétation ne signifie toutefois pas son élimination totale. La pratique clinique requiert une interaction entre les médecins et la technologie. Cela devient évident lorsque la fiabilité d'un résultat produit par la technologie est remise en question, par exemple lorsqu'un résultat donné doit être concilié avec un contexte clinique particulier. La plupart des médecins acceptent la numération globulaire automatisée sans la remettre en question, et certains centres utilisent désormais une analyse différentielle des globules blancs générée par un réseau neuronal. Cependant, lorsque les résultats divergent ou sont inattendus, une numération manuelle et une analyse morphologique sont requises. Elles sont effectuées par un technologue ou un hématopathe à l'œil bien entraîné.

De la même manière, bien des cliniciens ne remettent pas en question les résultats des analyses d'images : lorsque le rapport d'un radiologue s'accorde avec leurs attentes cliniques, ils n'ont pas à chercher plus loin. Toutefois, lorsqu'un rapport contient une observation inattendue ou qui modifiera de manière significative la gestion de cas, il en résulte un dialogue entre le clinicien et le radiologue. Un tel dialogue s'avère souvent précieux pour l'un comme pour l'autre, le clinicien y apportant un éclairage supplémentaire concernant le contexte clinique, ce qui permet au radiologue de réinterpréter une observation et de réduire la différence de diagnostic. Pour leur part, les radiologues et les pathologistes, lorsqu'ils sont confrontés à une image qui leur pose problème ou à une observation inhabituelle au microscope, passeront généralement en revue le dossier clinique et appelleront le médecin principal pour obtenir d'autres données cliniques afin d'éclairer leur interprétation. De tels échanges soulignent l'importance de disposer d'explications et de justifications lorsque l'on prend des décisions qui affectent le suivi des patients. La pratique de la médecine met en jeu une interaction continue entre les diverses parties concernées, médecin-patient, médecin-médecin, médecin-technologue, le tout se produisant en temps réel alors que les données et le contexte évoluent et que de nouvelles interprétations deviennent nécessaires. Bien que certains « oracles » affirment que l'IA remplacera les radiologues et les pathologistes, il nous semble que ces exemples montrent clairement comment de tels spécialistes continueront à jouer un rôle critique en dépit des progrès accomplis dans le domaine de la reconnaissance d'images.

L'importance de maintenir un échange mutuel entre les usagers de la technologie et les technologies elles-mêmes au sein de la prise de décisions soulève certaines inquiétudes quant à l'impact des nouvelles technologies qui menacent de réduire ou d'éliminer cette réciprocité. Soumis à des pressions de plus en plus fortes sur le plan technique et sur le plan clinique, les médecins éprouvent d'ores et déjà des difficultés à s'investir régulièrement au niveau des technologies et dans les travaux des technologues pour enrichir l'interprétation des données et le jugement clinique. Des efforts doivent être faits pour maintenir cette réciprocité au cœur de soins de santé. La Canadienne, médecin et auteure, Ursula Franklin nous a ainsi prévenus³⁷ :

«Chaque fois que des activités humaines incorporent des machines ou des procédures rigides, les modalités d'interaction interpersonnelle changent. En général, les arrangements d'ordre technique réduisent ou éliminent la réciprocité. La réciprocité est un mode de compromis interactif, une communication véritable entre les parties qui interagissent [...]. Dès que des cloisons techniques s'interposent, elles induisent une distance physique entre les parties. Le compromis, c'est-à-dire la réciprocité, s'en trouve faussé, diminué, ou même éliminé.»

La perte de réciprocité n'est pas un développement souhaitable. La réciprocité est requise chaque fois qu'un raisonnement flexible et contextuel s'impose, la médecine étant justement un exemple typique de discipline où c'est le cas. Comme le fait encore remarquer Franklin :

«La réciprocité [...] est ancrée dans la fluidité du contexte. C'est une réponse à une situation donnée. Elle n'est ni programmée dans le système, ni prévisible. Des réponses réciproques peuvent en effet amener à modifier les suppositions de départ. Elles peuvent conduire à des négociations, des compromis, des ajustements, et à des développements aussi nouveaux qu'imprévus.»

Le besoin de réciprocité et d'interprétation devient plus évident lorsque des outils mathématiques sont utilisés dans des contextes cliniques où le patient est présent. Un algorithme putatif d'IA peut émettre un certain nombre de diagnostics ou d'options de traitement, mais le jugement clinique implique la mise en relation de ces options avec un patient spécifique, en les alignant par exemple avec ses préférences et ses valeurs individuelles. Ce processus met en jeu un compromis entre les résultats produits par la machine et ses utilisateurs que sont le médecin et le patient, afin de négocier les options les mieux adaptées à la personne concernée dans son contexte de vie. De plus, conseiller un patient au sujet des options qui s'offrent à lui et l'amener à accepter une stratégie de gestion donnée, exige de lui expliquer et de lui démontrer avec soin la manière dont les objectifs thérapeutiques s'alignent sur ses propres valeurs et objectifs personnels.

Des variables nuancées comme les valeurs et les objectifs sont difficiles à représenter comme données d'entrée dans des modèles quantitatifs, ce qui exclut systématiquement l'utilisation d'une grande partie des données qualitatives riches et instructives de la médecine dans les approches d'exploitation des mégadonnées. Par conséquent, évaluer ces variables exige d'abord un engagement direct de l'expérience personnelle qui est une composante essentielle du jugement clinique mise en évidence dans les approches narratives. Le jugement clinique reste une pratique d'interprétation qui demande une intégration des stratégies de raisonnement tant quantitatives que qualitatives.

4.3. Dépasser l'opposition entre IA et jugement clinique

L'opposition entre l'IA et le jugement clinique est un thème récurrent dans la littérature scientifique et dans les médias populaires,³⁸ les diverses parties impliquées adoptant souvent des positions polarisées. Les partisans de chaque côté sont responsables de cette polarisation. Les partisans de l'IA qui se livrent à des déclarations fracassantes évoquant des scénarios tirés par les cheveux, aussi bien que ses détracteurs qui attisent les peurs de voir les médecins remplacés par des machines contribuent à créer des tensions qui peuvent faire obstacle à une évaluation sereine de la manière dont l'IA affectera le jugement clinique.

Plutôt que de percevoir l'IA comme s'opposant, par nature, au jugement clinique, nous devrions la percevoir comme une contribution au développement de la composante spécifique du jugement clinique que constituent les méthodes statistiques énumérées plus haut. Les applications de l'IA contribueront à développer un ensemble d'outils venant s'ajouter aux autres ressources et aux autres méthodes utilisées pour prendre des décisions cliniques. Les technologies de l'IA peuvent avoir des retombées importantes dans des domaines où les approches quantitatives sont prédominantes comme dans les laboratoires. Elles y seront plus

facilement intégrées aux flux des tâches, ce qui aura des retombées au niveau des soins sans donner l'impression d'interférer avec le jugement clinique des médecins. Dans les domaines où le patient est présent, l'intégration de ces outils demande toutefois qu'ils soient reconnus comme ne contribuant qu'à un aspect du jugement clinique et qu'ils opèrent parallèlement à des méthodes d'interprétation pour permettre des processus de prise de décisions partagés et des soins centrés sur le patient.

Tout comme les médecins ne peuvent plus se fier exclusivement à leur seule intuition clinique, il n'est pas davantage possible de se fier seulement à des méthodes quantitatives pour formuler un jugement clinique adéquat. Nous devons éviter de promouvoir les technologies de l'IA comme modèles de jugement clinique, car cela risque de dévaloriser le savoir fondé sur l'expérience ainsi que le raisonnement interprétatif, deux composantes qui continueront à jouer un rôle critique dans le suivi des patients.^{39,40}

Sur une note plus optimiste, certains ont affirmé que l'IA peut contribuer à alléger plusieurs tâches cognitives effectuées par les médecins, libérant ainsi du temps qu'ils pourront consacrer aux éléments humains irréductibles de la médecine clinique. Les médecins auront davantage de temps et d'énergie pour pratiquer la communication centrée sur le patient et exprimer de l'empathie, permettant ainsi des soins plus compatissants. Abraham Verghese, médecin et auteur, et ses collaborateurs le disent ainsi⁴¹ :

« Tout comme la mesure automatique de la pression artérielle et de la numération de la formule sanguine a libéré les médecins de certaines tâches, l'intelligence artificielle pourrait redonner un sens et une finalité à la pratique de la médecine, tout en permettant d'en améliorer à la fois l'efficacité et l'exactitude. Les médecins doivent orienter, superviser et surveiller de manière proactive l'adoption de l'intelligence artificielle en tant que technique partenaire du suivi des patients. »

Nous ne pouvons prendre pour acquis que des soins plus compatissants résulteront nécessairement de la pénétration de l'IA en médecine et du gain d'efficacité que ces technologies pourraient permettre. Pour que de tels objectifs soient atteints, les applications de l'IA devront être minutieusement conçues et tenir compte à la fois de l'expérience de l'utilisateur et de celle du patient. Plusieurs ont documenté les effets négatifs involontaires de l'arrivée des DME sur la relation patient-médecin et sur l'épuisement professionnel des médecins.⁴²

Comme le cas des DME l'a démontré, une plus grande efficacité ne se traduit pas toujours en soins plus compatissants. Les DME ont amélioré notre capacité à colliger des données, si bien que les médecins ont désormais accès à une mine de renseignements au sujet des patients avant même qu'ils n'entrent dans la salle de consultation. Les outils de l'IA pourraient un jour permettre aux médecins d'utiliser ces données pour poser des diagnostics et établir les options de traitement avant même de rencontrer le patient. De telles technologies pourraient améliorer l'efficacité des consultations, cependant, comme le reconnaissent les cliniciens d'expérience, c'est souvent en prenant le temps de recueillir soi-même l'historique du patient que des renseignements nouveaux et pertinents font surface. Toutefois, ce n'est pas simplement une question de volume de renseignements en plus ou en moins. Ce qui importe le plus, c'est cette présence humaine et cette ouverture à découvrir l'expérience de l'autre, car elle constitue la clé d'une relation thérapeutique. L'écoute de l'histoire du patient reste la base de la rencontre entre le médecin et le patient. Par conséquent, bien que certains la perçoivent comme inefficace, l'interaction humaine reste une dimension clinique et éducative essentielle.

4.4. Exemple : Prédiction et pronostication

Penchons-nous maintenant sur un exemple qui illustre les diverses manières d'aborder le raisonnement clinique et montre comment l'IA pourrait contribuer à la pratique clinique. La pronostication constitue un élément central du travail d'un médecin et de son jugement clinique. Les outils statistiques ont maintes fois été utilisés pour prédire des résultats cliniques

et on dispose aujourd'hui d'une pléthore de modèles de pronostic basés sur des données allant d'indices caractéristiques d'une maladie particulière à des indices plus généraux de prédiction des risques. L'IA et l'apprentissage profond ont également été appliqués à des problèmes de pronostication. Par exemple, une étude de l'université Stanford a mis en œuvre un algorithme d'apprentissage profond pour prédire, à partir de données provenant des DME, la mortalité dans les trois à douze mois, toutes causes confondues, de patients hospitalisés.⁴³ Des initiatives similaires basées sur l'apprentissage automatique pour prédire le risque de mortalité des patients hospitalisés sont en cours dans certains hôpitaux du Canada.

De tels outils, s'ils sont suffisamment validés sur des échantillons représentatifs des populations de patients, pourraient en effet s'avérer utiles pour prédire le risque de décès et, dans certains cas, être combinés à une intervention clinique. Par exemple, l'équipe de Stanford a utilisé son algorithme d'apprentissage profond pour faire des recommandations d'aiguillage vers des soins palliatifs pour les patients présentant un risque élevé de mortalité.⁴³

On a pu constater que la littérature médicale accorde une place de plus en plus importante à la prédiction, comme le prouve l'utilisation de plus en plus fréquente de l'expression «analyse prédictive», formule empruntée au monde des affaires et de la finance qui se servent de mégadonnées et de l'apprentissage profond pour prévoir l'avenir dans un contexte d'incertitude.⁴⁴

Cet accent mis sur la prédiction peut nous faire oublier que prédiction et pronostication ne sont pas synonymes. Alors que la prédiction met l'accent sur un résultat quantifiable dans une marge d'erreur donnée, la pronostication est un concept plus inclusif qui a ses racines dans la médecine antique. John Thomas et ses collaborateurs insistent sur ce point dans un article récent publié dans JAMA Internal Medicine.⁴⁵ Ils proposent de revenir à un concept de pronostic hérité d'Hippocrate, en vertu duquel le pronostic joue un rôle explicatif dans le suivi du patient. Selon cette optique, la pronostication décrit le processus par lequel le médecin aide le patient à trouver un sens à la trajectoire de sa maladie dans le contexte de son histoire personnelle, de sa situation présente et de son avenir.

«L'approche d'Hippocrate éclaire l'importance de comprendre les éléments qui contribuent aux prédictions et les changements que ces éléments contributeurs peuvent subir avec le temps, ce qui met en évidence le rôle explicatif du pronostic. En tant que méthode de synthèse, la pronostication demande autre chose qu'une simple prédiction ou une simple estimation, ce qui dépasse donc la simple utilisation d'outils pronostiques et ne requiert pas nécessairement des estimations quantitatives. La pronostication ouvre également la possibilité de prendre en compte une gamme de résultats autres que la mortalité, ce qui permet d'adapter les discussions aux résultats les plus pertinents dans le contexte clinique concerné. L'effet du partage de cette synthèse explicative avec le patient peut dépasser l'instauration d'un climat de confiance et avoir une valeur éducative en communiquant au patient les aspects pertinents de son passé et de sa situation actuelle en matière de santé, et en lui montrant comment ils éclairent son avenir. Cela clarifierait le fait que la formulation d'un pronostic est un processus dynamique en ce sens que les facteurs pertinents qui l'influencent peuvent varier avec le temps, ce qui rend nécessaires des réévaluations et des discussions périodiques.»

Ce passage met en évidence le fait qu'en dépit de l'essor de l'analyse prédictive et des algorithmes d'apprentissage profond, des approches narratives et interprétatives resteront indispensables pour la pronostication. Bien que les modèles de l'IA puissent prédire avec précision certains résultats cliniques, le jugement clinique exige que de telles mesures soient interprétées et expliquées en fonction du contexte de vie du patient. La pronostication ne peut être réduite à la production d'un résultat par un algorithme prédictif. Le jugement clinique peut avoir recours à des outils algorithmiques, mais il met aussi en jeu des processus de raisonnement beaucoup plus nuancés qui sont peut-être mieux représentés par la notion

de «sagesse pratique» présentée plus haut et qui décrit les aptitudes à l'interprétation grâce auxquelles les médecins peuvent utiliser leur savoir et leur expérience pour définir la meilleure ligne d'action dans un contexte donné. C'est la sagesse pratique cultivée grâce à l'expérience clinique qui aide les médecins à aborder des questions comme : «quand doit-on aborder le sujet du pronostic lors d'une discussion avec un patient?» ou «quand est-il approprié d'utiliser un outil quantitatif et de présenter des chiffres? Et quand cela ne l'est-il pas?», ou encore «comment transmettre cette information et les incertitudes qui s'y rattachent à un patient de manière à ce qu'il comprenne?» Les réponses à ces questions ne se présenteront pas sous forme d'algorithmes, mais il est crucial de s'y pencher dans le cadre de la pratique clinique quotidienne. Un bon jugement clinique devrait tirer profit des ressources quantitatives découlant des progrès technologiques qui font désormais partie intégrante de la médecine moderne; il ne peut toutefois négliger les éléments interprétatifs tout aussi importants qui jouent un rôle essentiel dans l'offre de soins compatissants aux patients.

Cet exemple au sujet de la pronostication montre la diversité des approches qui entrent en jeu dans le jugement clinique, ce dernier étant une pratique pluraliste. Disposer d'une panoplie d'approches n'est pas un défaut. Cette diversité est en soi une reconnaissance du fait que des tâches cliniques complexes exigent souvent de multiples stratégies de raisonnement et ont recours à la fois à des outils quantitatifs et à des méthodes interprétatives. Le recours à un jugement clinique pluraliste évite de privilégier une méthode par rapport à une autre en reconnaissant que chaque approche peut jouer un rôle important selon le scénario clinique en cause. Nous consacrerons la prochaine section de ce document à l'exploration des conséquences de ce qui précède sur la formation médicale.

5. Quels défis et quelles possibilités présente l'IA dans le cadre de la formation médicale?

L'IA présente de nombreux défis et ouvre de nombreuses possibilités dans le cadre de la formation médicale. En effet, l'IA pourrait provoquer une révision profonde de la manière d'exécuter certaines tâches cliniques, ce qui pourrait à son tour modifier le type de compétences exigées des médecins. Si l'on se réfère, par exemple, au cadre CanMEDS du Collège royal des médecins et chirurgiens du Canada, certains aspects des compétences de «l'expert médical» comme l'interprétation des tests diagnostiques ou la formulation des procédures ou les thérapies les plus appropriées sont des domaines où la future contribution de l'IA pourrait être significative.⁷ Cela aurait pour effet de rendre moins essentiels certaines habiletés et certains savoirs considérés jusqu'alors comme fondamentaux pour l'exercice de la profession médicale. Cela pourrait à son tour amener un recentrage de la formation vers des compétences exclusivement «humaines» par lesquelles les médecins contribuent à l'amélioration des soins de santé.

5.1. Recentrer la formation médicale vers les compétences «humaines»

La formation médicale joue un rôle crucial dans le recentrage de l'apprentissage des médecins vers des compétences de grande valeur sur le plan humain afin de répondre aux besoins de demain face aux progrès rapides de la technologie. C'est la thèse que défendent David Li et ses collaborateurs dans un article récent intitulé «Why We Needn't Fear the Machines: Opportunities for Medicine in a Machine Learning World» [Pourquoi nous n'avons rien à craindre des machines : nouvelles possibilités pour la médecine dans un monde d'apprentissage automatique] publié dans *Academic Medicine*.⁴⁶ Ils examinent la question d'un point de vue économique :

«La théorie économique nous montre que la valeur des activités qui complètent une technologie émergente s'accroît alors que celle des activités qui s'y substituent décroît. L'activité complémentaire de la prédiction automatique dans la prise de décision

clinique est le jugement humain, c'est-à-dire la capacité d'évaluer les avantages et le coût des traitements potentiels en fonction du contexte global du patient. Bien que les données cliniques quantitatives documentées dans les dossiers médicaux électroniques servent typiquement à développer des modèles d'apprentissage automatique, les valeurs spécifiquement humaines et les déterminants sociaux de la santé se prêtent difficilement à une modélisation. Les médecins de demain devront combiner cette information non structurée aux résultats de la prédiction automatique pour améliorer leur propre jugement et offrir ainsi des soins de grande qualité centrés sur le patient. Les aptitudes humaines comme l'empathie et l'altruisme n'en auront que plus de valeur, mais le complément le plus précieux sera celui qu'aucun ordinateur ne pourra jamais remplacer : la présence humaine. Pouvoir se décharger de tâches routinières très spécifiques grâce à une technologie automatique ne rendra pas inutiles les compétences complémentaires des médecins. Cela les rendra en réalité plus importantes et augmentera leur valeur économique.»

Loin de remplacer ou d'éliminer le besoin de médecins en chair et en os, l'IA et l'apprentissage automatique ne feront que rendre leur activité plus importante en misant davantage sur des compétences et des habiletés spécifiquement humaines, notamment le raisonnement moral, l'empathie et l'altruisme. Ce point de vue rejoint d'autres arguments soutenant que l'IA peut contribuer à humaniser la médecine.⁴⁷ Cependant, comme nous en avons discuté plus haut, pour que ce processus d'humanisation puisse se produire, il faudra qu'innovateurs comme éducateurs du milieu de la santé passent résolument à l'action. Lorsqu'ils se penchent spécifiquement sur les incidences de l'IA sur la formation médicale, Li et al. écrivent :

«Il est clair que le rôle des médecins de demain sera vraisemblablement redéfini au fur et à mesure que certaines tâches deviendront de plus en plus automatisées. Comment le paradigme actuel de la formation médicale prépare-t-il les médecins à cette réalité ? Sans doute pas très bien, ou tout au moins pas encore. Il est plus important que jamais de débattre des changements qui vont affecter le lieu de travail. Il est également clair que la proposition de valeur de la profession médicale doit être nettement définie et qu'un nouveau paradigme de formation doit être résolument développé. Les facultés de médecine doivent enseigner à leurs étudiants une médecine de pointe sans perdre de vue l'aspect humain de la profession. Les programmes devraient mettre l'accent sur deux domaines clés : l'amélioration du jugement humain et l'offre de soins centrés sur le patient.»

Cet accent mis sur l'amélioration du jugement humain est particulièrement en évidence dans la discussion en cours. Une des préoccupations soulevées plus tôt était que l'expansion des applications de l'IA en médecine donnerait indûment une place de plus en plus grande aux approches quantitatives dans le jugement clinique, provoquant ainsi une érosion subtile des composantes humanistes essentielles au suivi des patients. Les partisans de l'IA en médecine élèvent souvent ces technologies au statut d'exemples de raisonnement clinique, sans reconnaître que cette approche n'est qu'une manière parmi tant d'autres d'aborder les questions liées à la pratique clinique. Nous avons montré comment ce point de vue représente une méconnaissance de la nature du jugement clinique. Une dévalorisation du raisonnement interprétatif et contextuel spécifiquement humain va directement à l'encontre de ce dont la profession médicale de demain a besoin.

5.2. Incidences sur le développement des programmes d'enseignement

Pour se protéger d'une telle tendance, il est important que les responsables de la formation se familiarisent avec les nouvelles technologies de manière équilibrée, en prenant conscience à la fois de leurs promesses et de leurs limites. Les programmes de formation médicale devraient couvrir l'IA et l'apprentissage automatique en même temps que d'autres méthodes statistiques afin de développer les compétences en évaluation critique et d'apprendre aux étudiants à évaluer la validité et l'applicabilité des outils de l'IA dans divers contextes cliniques. En plus d'offrir une base technique permettant de comprendre les applications de l'IA en médecine,

les programmes devraient favoriser la prise de conscience des questions sociales et éthiques soulevées par l'utilisation de l'IA dans le secteur des soins de santé. À cette fin, il existe une documentation de plus en plus vaste qui explore les dimensions sociales et éthiques de l'IA dans le contexte des soins de santé et présente une analyse critique de questions allant de la protection du caractère privé des données et de la confiance, à l'équité et la diversité dans le domaine de l'IA.

Il est d'une importance critique que les programmes de formation médicale des premier et second cycles continuent de créer un environnement favorable au développement des compétences humaines qui sous-tendent le bon jugement clinique. Comme nous l'avons vu, la sagesse pratique est un élément central du jugement clinique et constitue une compétence dont le développement optimal passe par un apprentissage basé sur l'expérience jumelée à une pratique réflexive. Les éducateurs en médecine doivent être conscients de la manière dont la technologie pourrait avoir un effet négatif sur la capacité des étudiants à développer une sagesse pratique. Tout comme les DME présentent un risque d'inversion de la dynamique de la rencontre clinique et de privilégier les données électroniques aux dépens de l'interaction humaine, les outils de l'IA pourraient avoir des retombées similaires s'ils sont déployés sans discrimination et sans réflexion. La formation liée à l'IA ne devrait pas se faire aux dépens d'une valorisation des habiletés de narrateur permettant aux étudiants de participer à des expériences personnelles qui échappent aux mesures quantitatives, mais restent cependant essentielles pour le suivi des patients.

Les sciences humaines liées à la médecine ont considérablement évolué dans leur appui au développement de compétences en narration et d'une sensibilité aux expériences personnelles, et il est de plus en plus question d'introduire une formation en sciences humaines au premier comme au second cycle.⁴⁸ Une initiative importante est l'approche d'apprentissage dialogal proposée par Arno Kumagai et ses collaborateurs.⁴⁹ L'originalité de cette approche réside dans le fait qu'elle se déroule à la fois dans le cadre de la pratique clinique et parallèlement à cette pratique. Elle permet de prendre le temps de participer aux « moments dialogaux » qui constituent le côté humain de la médecine et de saisir l'occasion pour développer les compétences des enseignants et celles des étudiants à se livrer à une réflexion critique et à pratiquer l'empathie :

«D'un point de vue éducatif, à quoi ressemblent l'enseignement et l'apprentissage dialogaux? Nous sommes d'avis qu'ils ne se limitent pas à la transmission ou l'acquisition d'une nouvelle compétence, comme la réalisation d'une ponction lombaire ou la lecture d'une échographie abdominale. On ne peut les réduire à un cours, à une compétence clinique ou à une classe portant sur l'entrevue motivationnelle, ou encore les isoler dans des contextes standardisés et simulés. Pour éviter un excès d'abstraction et donner aux interactions dialogales une pertinence professionnelle et personnelle, l'apprentissage dialogal devrait idéalement être effectué dans des contextes cliniques spécifiques, dans des cliniques, des services d'hôpitaux, des urgences et des blocs opératoires, pendant des périodes de conflit moral, de souffrance humaine, de réflexion et d'incertitude [...]. Ces moments dialogaux peuvent consister en de brefs échanges saisis au passage lors d'une question pertinente posée par un médecin, dans un commentaire mettant en relief un fait du quotidien, ou dans la reconnaissance d'une situation difficile ou tragique : il s'agit de moments de rencontre qui peuvent se déployer en réflexion et en mémoire bien après que l'échange ait eu lieu. Ces moments sont perçus différemment de la manière habituelle dont on présente des «perles cliniques» durant une tournée des patients : en un certain sens, ce n'est pas le transfert d'information qui importe, mais l'ouverture de la pensée et des perceptions par le biais de questions qui incitent à prendre en compte diverses perspectives, diverses approches et diverses manières de vivre.»

Les éducateurs doivent reconnaître le rôle essentiel des sciences humaines dans la formation médicale et éviter de reléguer les sujets qui s'y rattachent à des «programmes d'enseignement annexes» ou à des domaines d'activités hors-programme où ils sont trop souvent négligés au

profit du savoir de base en sciences biologiques. Ayelet Kuper et ses collaborateurs franchissent un pas important en ce sens en définissant un corpus de savoir relevant des sciences sociales et humaines qui sous-tend des compétences importantes pour les médecins.⁵⁰ Leur étude a identifié douze thèmes reliés entre eux qui relèvent des sciences sociales et des sciences humaines et servent de base à la formation correspondant au rôle que le référentiel CanMEDS appelle «expert non-médecin». Ces thèmes sont actuellement utilisés dans la préparation de programmes d'enseignement.

Ces exemples suggèrent divers moyens d'enseigner des compétences de nature humaniste dans les programmes de premier et de second cycle avec une rigueur qui est perdue dès qu'on les qualifie de compétences non-techniques ou «molles», inférieures aux compétences en sciences biologiques. Il ne fait aucun doute que les progrès en sciences biologiques et dans les domaines des méthodologies quantitatives ont permis des percées significatives en médecine moderne. Mais on reconnaît aujourd'hui de plus en plus que ces modes de savoir ne suffisent pas à englober la totalité de la médecine. La montée de l'IA donne l'occasion de remettre l'accent sur le développement des compétences humaines qui contribuent à l'acquisition d'un jugement clinique flexible et pluraliste. Les étudiants formés de cette manière seront équipés pour exercer leur profession en tant que médecins techniquement compétents et empathiques. Ils seront en mesure d'agir comme leaders dans le domaine de la santé, capables de trouver de nouvelles manières de bénéficier de la technologie pour mieux soutenir les compétences humaines qui permettent d'offrir des soins plus compatissants et centrés sur le patient.

6. Conclusion

Ce document d'information s'est penché sur la relation entre l'IA et le jugement clinique. Nous avons exploré la manière dont les applications actuelles et futures de l'IA contribueront à la prise de décisions cliniques, la manière également dont les médecins interagiront avec l'IA dans un contexte de soins de santé, et la manière enfin dont l'IA présentera à la fois des défis et de nouvelles possibilités dans le domaine de la formation médicale.

Une leçon importante est qu'il nous faut dépasser les tensions souvent soulignées dans la littérature entre le jugement clinique et l'IA. Bien que les effets négatifs de l'IA sur la pratique clinique soient source d'inquiétudes légitimes, le fait d'opposer l'IA et le jugement clinique établit une fausse division et crée des obstacles inutiles nuisant à l'élaboration de nouvelles manières d'allier l'IA aux compétences humaines dans l'intérêt du patient.

Comme nous l'avons montré, aucune description du jugement clinique ne rend totalement compte de la diversité et de la complexité des processus de raisonnement requis par le travail quotidien des médecins. L'IA se joindra à l'arsenal de méthodes quantitatives utilisées dans le jugement clinique et qui jouent un rôle critique dans la médecine moderne. Loin toutefois de remplacer les approches humanistes, il se pourrait que les technologies de l'IA, si elles sont bien conçues et appliquées de manière réfléchie, permettent de valoriser la présence humaine dans les soins cliniques. Les étudiants et les médecins de demain doivent devenir des leaders pour veiller à ce que l'IA contribue à la réalisation de l'objectif entrevu d'offrir des soins améliorés et compatissants aux patients. Ce document d'information est destiné à servir d'introduction et de base à un futur dialogue productif entre médecins, éducateurs et innovateurs dans le domaine de la santé.

Bibliographie

- 1 Naylor CD, On the Prospects for a (Deep) Learning Health Care System [Réflexion sur l'avenir d'un système de santé doté d'apprentissage profond], *Journal of the American Medical Association*, 2018, 320 (11), p. 1099-1100.
- 2 Stinson C, Healthy Data: Policy Solutions for Big Data and AI Innovation in Health [Données saines : solutions concernant les politiques relatives aux mégadonnées et aux innovations en santé], 2018.
- 3 Tang A, Tam R, Cadrin-Chênevert A, Guest W, Chong J, Barfett J, et al., L'Association canadienne des radiologistes : White Paper on Artificial Intelligence in Radiology [Livre blanc de l'Association canadienne des radiologistes sur l'intelligence artificielle en radiologie], *Can Assoc Radiol J.*, mai 2018. 69 (2), p. 120-135.
- 4 Baxt WG, Application of artificial neural networks to clinical medicine [Application des réseaux neuronaux artificiels à la médecine clinique], *The Lancet*, 1995, 346 (8983), p. 1135-1138.
- 5 Hinton G, Deep learning—a technology with the potential to transform healthcare [L'apprentissage profond : une technologie qui pourrait transformer les soins de santé], *Journal of the American Medical Association*, 2018, 320 (11), p. 1101-1102.
- 6 Stead W, Clinical Implications and Challenges of Artificial Intelligence and Deep Learning [Incidence et défis de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage profond en milieu clinique], *Journal of the American Medical Association*, 2018, 320 (11), p. 1107-1108.
- 7 Snell L, Sherbino J, Frank J, CanMEDS 2015 Référentiel des compétences dont les médecins doivent faire preuve, Collège royal des médecins et chirurgiens du Canada.
- 8 Upshur R. Effets potentiel de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique sur la pratique de la médecine familiale : document d'information, juillet 2019, p. 1-16.
- 9 Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, et al., Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks [Classification des cancers de la peau au niveau du dermatologue par des réseaux neuronaux profonds], *Nature*, 25 janvier 2017, 542 (7639), p. 115-118.
- 10 Capper D, Jones DTW, Sill M, Hovestadt V, Schrimpf D, Sturm D, et al., DNA methylation-based classification of central nervous system tumours [Classification des tumeurs du système nerveux central par méthylation de l'ADN], *Nature*, 1er mars 2018, 555 (7697), p. 469-474.
- 11 Goodfellow I, Bengio Y, Courville A, Deep learning [L'apprentissage profond], MIT Press, 2016, www.deeplearningbook.org
- 12 Rajkomar A, Dean J, Kohane I, Machine Learning in Medicine [L'apprentissage automatique en médecine], *N Engl J Med.*, 4 avril 2019, 380 (14), p. 1347-1358.
- 13 Topol EJ, High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence [Médecine de haute performance : la convergence de l'intelligence humaine et de l'intelligence artificielle], *Nature Medicine*, 2019, volume 25, p. 44-56.
- 14 Gulshan V, Peng L, Coram M, Stumpe MC, Wu D, Narayanaswamy A, et al., Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs [Développement et validation d'un algorithme d'apprentissage profond pour la détection de la rétinopathie diabétique à partir des images d'un rétinographe], *Journal of the American Medical Association*, 13 décembre 2016, 316 (22), p. 2402-2409.
- 15 Beam AL, Kohane IS, Big Data and Machine Learning in Health Care [Mégadonnées et apprentissage automatique dans les soins de santé], *Journal of the American Medical Association*, 3 avril 2018, 319 (13), p. 1317-1322.
- 16 Tu JV, Advantages and disadvantages of using artificial neural networks versus logistic regression for predicting medical outcomes [Avantages et inconvénients de l'utilisation de réseaux neuronaux artificiels au lieu de la régression logistique pour prédire les résultats en médecine], *J. Clin. Epidemiol.*, novembre 1996, 49 (11), p. 1225-1231.
- 17 La FDA permet la mise en marché de systèmes basés sur l'intelligence artificielle pour détecter certains problèmes oculaires liés au diabète, accessible [en anglais] à l'adresse : <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-permits-marketing-artificial-intelligence-based-device-detect-certain-diabetes-related-eye>.
- 18 La FDA permet la mise en marché de logiciels de soutien à la prise de décision destinés à avertir les soignants d'un risque d'ACV chez les patients, accessible [en anglais] à l'adresse : <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-permits-marketing-clinical-decision-support-software-alerting-providers-potential-stroke>.

- 19 Faron ML, Buchan BW, Vismara C, Lacchini C, Bielli A, Gesu G, et al., Automated Scoring of Chromogenic Media for Detection of Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus by Use of WASPLab Image Analysis Software [Classement automatique des milieux chromogènes par le logiciel d'analyse d'images de WASPLab pour la détection du Staphylococcus aureus résistant à la méthicilline], Richter SS, éditeur, Journal of Clinical Microbiology, 25 février 2016, 54 (3), p. 620-624.
- 20 Faron ML, Buchan BW, Coon C, Liebrechts T, van Bree A, Jansz AR, et al., Automatic Digital Analysis of Chromogenic Media for Vancomycin-Resistant-Enterococcus Screens Using Copan WASPLab [Analyse numérique automatique des milieux chromogènes par le système Copan de WASPLab pour la détection d'entérocoques résistants à la vancomycine], Burnham CAD, éditeur, Journal of Clinical Microbiology, 23 septembre 2016, 54 (10), p. 2464-2469.
- 21 Briggs C, Longair I, Slavik M, Thwaite K, Mills R, Thavaraja V, et al. Can automated blood film analysis replace the manual differential? [L'analyse automatique des frottis sanguins peut-elle remplacer la numération différentielle manuelle?], une évaluation du système CellaVision DM96 d'analyse automatique d'images, Int. J. Lab. Hematol., février 2009, 31 (1), p. 48-60.
- 22 Early Warning for General Internal Medicine (GIM) Patients [Indices précoces de risques chez les patients en médecine générale interne], accessible à l'adresse : <https://www.chartdatascience.ca/early-warning-gim>.
- 23 Chin-Yee B, Upshur R, Three Problems with Big Data and Artificial Intelligence in Medicine [Trois problèmes associés aux mégadonnées et à l'intelligence artificielle en médecine]. Perspectives in Biology and Medicine, 2019, 62(2), p. 237-256.
- 24 Burki T, [World Report] GP at hand: a digital revolution for healthcare provision? [(Rapport mondial) Un omnipraticien toujours disponible : une révolution numérique dans les soins de santé?] The Lancet, 10 août 2019, 394 (10197), p. 457-460.
- 25 Braude HD, Clinical Reasoning and Knowing [Raisonnement et savoir cliniques], dans : Marcum JA, éditeur, The Bloomsbury Companion to Contemporary Philosophy of Medicine, 2017.
- 26 Engelhardt HT, Spicker SF, Towers B, éditeurs, Clinical Judgment: A Critical Appraisal [Jugement clinique : évaluation critique], Vol. 6, Dordrecht: Springer Netherlands, 1979.
- 27 Tversky A, Kahneman D, Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases [Incertitude dans le jugement : aspects heuristiques et biais], Science, 27 septembre 1974, 185 (4157), p. 1124-1131.
- 28 Norman GR, The epistemology of clinical reasoning: perspectives from philosophy, psychology, and neuroscience [L'épistémologie du raisonnement clinique : perspectives inspirées de la philosophie, de la psychologie et de la neuroscience], Academic Medicine, 2000, 75, S127-133.
- 29 Elstein AS, Clinical Problem Solving and Decision Psychology: Comment on «The Epistemology of Clinical Reasoning» [Résolution de problèmes cliniques et psychologie de la prise de décision : commentaire à propos de «L'épistémologie du raisonnement clinique»] Academic Medicine, 1er octobre 2000, 75 (10), S134.
- 30 Braude HD. Intuition in Medicine [L'intuition en médecine], University of Chicago Press, 2012.
- 31 Braude HD, Clinical intuition versus statistics: different modes of tacit knowledge in clinical epidemiology and evidence-based medicine [Intuition clinique ou calculs statistiques : différentes modalités de savoir tacite en épidémiologie clinique et en médecine fondées sur des données probantes], Theor. Med. Bioeth., 23 juin 2009, 30 (3), p. 181-198.
- 32 Montgomery K, How Doctors Think: Clinical Judgment and the Practice of Medicine [La manière de penser des médecins : jugement clinique et pratique médicale], Oxford University Press, 2005.
- 33 Charon R, Narrative Medicine: Honoring the Stories of Illness [Médecine narrative : honorer les récits de maladie], Oxford University Press, 2005.
- 34 Sackett DL, Rosenberg WM, Gray JA, Haynes RB, Richardson WS, Evidence-based medicine: what it is and what it isn't [La médecine fondée sur des données probantes : ce qu'elle est et ce qu'elle n'est pas], BMJ, 13 janvier 1996, 312 (7023), p. 71-72.
- 35 Djulbegovic B, Guyatt G, Evidence vs Consensus in Clinical Practice Guidelines [Preuve ou consensus dans les directives de pratique clinique], Journal of the American Medical Association, juillet 2019, 19, p. 1-2.
- 36 London AJ, Artificial Intelligence and Black-Box Medical Decisions: Accuracy versus Explainability [Intelligence artificielle et décisions médicales à partir d'une boîte noire : exactitude ou explicabilité], Hastings Center Report, 21 février 2019, 49 (1), p. 15-21.
- 37 Franklin UM, The Real World of Technology [Le monde réel de la technologie], House of Anansi, 1999.
- 38 Mukherjee S, A.I. versus M.D. [I.A. contre D.M.], The New Yorker, 27 juillet 2017.
- 39 Chin-Yee B, Upshur R, Clinical Judgment in the era of big data and predictive analytics [Jugement clinique à l'ère des mégadonnées et de l'analyse prédictive], J. Eval. Clin. Pract., juin 2018, 24 (3), p. 638-645.

- 40 Chin-Yee B, Chin-Yee I, Big Data, Precision Medicine and Person-Centered Healthcare [Mégadonnées, médecine de précision et soins centrés sur la personne], *European Journal for Person Centered Healthcare*, 2018, 6 (4), p. 513-515.
- 41 Verghese A, Shah NH, Harrington RA, What This Computer Needs Is a Physician [Ce dont cet ordinateur a besoin, c'est d'un médecin], *Journal of the American Medical Association*, 2 janvier 2018, 319 (1), p. 19-22.
- 42 Verghese A, How Tech Can Turn Doctors Into Clerical Workers [Comment la technologie peut changer les médecins en employés de bureau], *The New York Times Magazine*, 16 mai 2018.
- 43 Avati A, Jung K, Harman S, Downing L, Ng A, Shah NH, Improving palliative care with deep learning [Améliorer les soins palliatifs par l'apprentissage profond], *IEEE*, 2017, p. 311-316.
- 44 Sniderman AD, D'Agostino RB, Pencina MJ, The Role of Physicians in the Era of Predictive Analytics [Le rôle des médecins à l'ère de l'analyse prédictive], *Journal of the American Medical Association*, 7 juillet 2015, 314 (1), p. 25-26.
- 45 Thomas JM, Cooney LM Jr, Fried TR, Prognosis Reconsidered in Light of Ancient Insights—From Hippocrates to Modern Medicine [Le pronostic revu à la lumière d'anciennes intuitions : d'Hippocrate à la médecine moderne], *JAMA Intern. Med.*, 1er juin 2019, 179 (6), p. 820-824.
- 46 Li D, Kulasegaram K, Hodges BD, Why We Needn't Fear the Machines [Pourquoi nous n'avons rien à craindre des machines], *Academic Medicine*, mai 2019, 94(5), p. 623-625.
- 47 Israni ST, Verghese A, Humanizing Artificial Intelligence [Humaniser l'intelligence artificielle], *Journal of the American Medical Association*, Oxford University Press, 1er janvier 2019, 321 (1), p. 29-30.
- 48 Peterkin AD, Skorzewska A, Health Humanities in Postgraduate Medical Education [Les sciences humaines de la santé dans la formation médicale du deuxième cycle], Oxford University Press, 2018.
- 49 Kumagai AK, Richardson L, Khan S, Kuper A, Dialogues on the Threshold [Dialogues sur le seuil], *Academic Medicine*, décembre 2018, 93 (12), p. 1778-1783.
- 50 Kuper A, Veinot P, Leavitt J, Levitt S, Li A, Goguen J, et al., Epistemology, culture, justice and power: non-bioscientific knowledge for medical training [Épistémologie, culture, justice et pouvoir : savoirs ne relevant pas des sciences biologiques dans la formation médicale], *Medical Education*, 15 novembre 2016, 51 (2), p. 158-173.